



MINISTERIO DEL AIRE
SUBSECRETARIA DE AVIACION CIVIL

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL

Publicaciones

Serie A (Memorias) n.º 50 (Separata)

CONTAMINACION ATMOSFERICA, DESDE EL PUNTO DE VISTA METEOROLOGICO

Conferencia pronunciada en Madrid el día 5 de mayo de 1965
por

D. MANUEL PALOMARES CASADO

(Meteorólogo)

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
CIUDAD UNIVERSITARIA
MADRID-3
1969

AEMET-BIBLIOTECA



1004082

R.º 491/F

Sig 11042 (041) = 60

28 ABR. 1982



MINISTERIO DEL AIRE
SUBSECRETARIA DE AVIACION CIVIL

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL

Publicaciones

Serie A (Memorias) n.º 50 (Separata)

CONTAMINACION ATMOSFERICA, DESDE EL PUNTO DE VISTA METEOROLOGICO

Conferencia pronunciada en Madrid el día 5 de mayo de 1965

por

D. MANUEL PALOMARES CASADO

(Meteorólogo)

Donativo de Antonia Roldán

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
CIUDAD UNIVERSITARIA
MADRID-3
1969



28 MAR 1982



INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA
SERVICIO NACIONAL DE AVIACIÓN CIVIL

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

2. Descripción

Señal a la distancia, 30 segundos

EL PUNTO DE VISTA METEOROLÓGICO
CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, DESDE

Comunicación por radio en México el día 2 de mayo de 1982

28

R. MANUEL RAMÍREZ CÁDIZ

(Firmado)



INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA
CIUDAD DE GUAYMAS

MAR 1982

1982

LA CONTAMINACION ATMOSFERICA DESDE EL PUNTO DE VISTA METEOROLOGICO

Por

MANUEL PALOMARES CASADO

CONTAMINACION NATURAL Y ARTIFICIAL

Entenderemos por contaminación atmosférica la penetración y permanencia en el aire de materias impurificantes que por su naturaleza, concentración y tiempo de suspensión perjudican a la vida animal y vegetal, y particularmente a la salud, bienestar y desarrollo económico y social de la población humana.

Esas materias pueden obedecer a causas naturales, unas, más o menos accidentales y pasajeras, como erupciones volcánicas, tempestades de polvo y arena o incendios de bosques; otras que son de carácter más permanente y local, como las evaporaciones de aguas insalubres y las emanaciones de gases deletéreos en áreas pantanosas; algunas, se relacionan estrechamente con ciertas situaciones meteorológicas, como apariciones de plagas agrícolas, e inmigraciones de insectos perjudiciales para el campo, y otras, en fin, tienen un carácter estacional muy marcado, como la gama tan variada de alérgenos aéreos de origen vegetal, desarrollados preferentemente en primavera, y que originan frecuentes afecciones respiratorias y cutáneas.

También los adecuados usos de polvos tóxicos y pulverizantes, aplicados como herbicidas e insecticidas, desde aparatos terrestres y aéreos o de nieblas protectoras contra heladas por ejemplo, requieren considerar las acciones dispersivas de las corrientes aéreas principalmente; lo mismo que la redistribución de sustancias químicas, barridas de las superficies sólidas y líquidas de nuestro globo, por dichas corrientes.

Sin embargo, aquí vamos a limitarnos a las materias impurificadoras de la atmósfera, creadas artificialmente por las actividades humanas, cuya existencia y propagación, están aumentando de manera alarmante a medida que crece la población, se multiplican los medios de transporte y se extienden e intensifican toda clase de procesos técnicos e industriales.

En primer lugar, tenemos los humos procedentes de combustiones domésticas e industriales y de los tubos de escape de vehículos mecánicos. Los primeros, por ser emitidos a niveles inferiores, en general, respecto de los segundos, son los responsables más inmediatos de la contaminación atmosférica urbana que está creciendo rápidamente con los aumen-

tos de densidades de población y del nivel medio de vida, acompañados por el consiguiente incremento de medios mecánicos de transporte, tanto públicos como privados. Todos estos humos contienen una serie de partículas y gases, como anhídridos carbónico y sulfuroso, u óxidos de carbono y de nitrógeno, cuyas concentraciones pueden alcanzar muchas veces niveles francamente tóxicos.

Después, van existiendo en cantidades crecientes núcleos y regiones industriales, con hornos y procesos de fabricación que dan lugar, no sólo a emanaciones gaseosas, sólidas y líquidas, impurificantes directas de la atmósfera circundante, sino a desechos que contaminan las aguas cercanas, e indirectamente el aire, a través de las correspondientes evaporaciones y condensaciones. Así, tenemos muchas industrias químicas y metalúrgicas, en general, - o factorías mineras, y en particular refinerías de petróleo, fábricas de gas, abonos, cementos cerámicas, materiales refractarios, etc., que están desprendiendo continuamente polvos, humos y restos gaseosos y líquidos, realmente nocivos para la salud humana y para la vida animal y vegetal de los alrededores.

Capítulo aparte merecen naturalmente, los procesos que originan o pueden desprender accidentalmente residuos radiactivos, lo mismo si se trata de experiencias con armas atómicas o termonucleares, que de aplicaciones pacíficas, por ejemplo, a través de reactores para generar energía eléctrica o de operaciones para la preparación y variadas aplicaciones de los isótopos radiactivos. También debemos considerar por separado los métodos de la guerra química y microbiana. Por último, también hay que tener en cuenta que la vida moderna obliga cada vez mas a trabajar en ambientes cerrados, cuyas atmósferas impuras, sobre todo en ciertos locales públicos y actividades industriales, perjudican a la salud del trabajador intelectual o manual, disminuyendo su capacidad, mermando sus facultades, y resultando, no sólo inhumanas, sino a la larga antieconómicas por su baja productividad.

Pero, además, la contaminación atmosférica no sólo perjudica al hombre y a la sociedad directamente, por la respiración de aires viciados, y a través de sus nefastas influencias en los animales y plantas que constituyen alimentos y medios básicos de vida, sino también por sus efectos destructores sobre muchos materiales de construcción, estructuras y equipos industriales. Ejemplo elocuente es la acción del anhídrido sulfuroso, derivado en gran número de combustiones, que ataca a las piedras calizas y a otros materiales conteniendo carbonatos, principalmente, y acentúa la rapidez de corrosión de metales muy comunes en la construcción y en la industria, como hierro y acero, cobre y zinc.

BASES METEOROLOGICAS PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS DE LA CONTAMINACION

No es ahora la ocasión de detallar, ni las muy variadas substancias que pueden intervenir en la contaminación artificial del aire, ni sus muchas procedencias, ni sus muy diversas influencias, mas o menos directas, en la vida y actividades humanas. Tampoco podemos detenernos en instrumentos, métodos, técnicas y resultados de medidas, ni en los procedimientos prácticos ideados para combatirla y para disminuir o anular sus efectos. Pero si creemos útil exponer algunas ideas acerca de cómo la Meteorología y los meteorólogos podrían contribuir a resolver lo mejor posible, los principales problemas derivados de la contaminación atmosférica, en estrecha colaboración con otros científicos, técnicos, organismos y personas interesadas en la cuestión. Ello puede lograrse de tres maneras generales:

1^a.— Mediante estudios e informaciones climatológicas que sirvan de base, por una parte, para proyectar y construir los edificios y núcleos urbanos e industriales, de modo y manera, que estén influidos lo menos posible por los focos de contaminación atmosférica mas próximos o peligrosos, y, por otra, para situar estos focos en potencia, cuando son inevitables, en los lugares, orientaciones y circunstancias que menos afecten a las zonas vitales de los alrededores.

2^a.— Mediante predicciones especiales, a corto y largo plaza, sobre la evolución de los elementos, factores atmosféricos y situaciones meteorológicas que mas influyen en la duración, dispersión y propagación de las materias contaminadoras del aire, a fin de que las personas y entidades que puedan resultar afectadas tengan oportunidad de tomar las precauciones mas convenientes a cada caso y situación particular, en bien propio y de la comunidad.

3^a.— Mediante técnicas de ingeniería meteorológica o ambiental, que debe, formando apretado equipo con otras ramas de la ingeniería y de la técnica, tratar de disminuir la contaminación del aire, su propagación o sus perniciosos efectos, teniendo en cuenta los factores atmosféricos que mas influyen en ella, a través por ejemplo, de sus relaciones con las superficies sólida y líquida del planeta, y con la radiación solar que gobierna todos estos procesos. En particular, no sólo los arquitectos y urbanistas, sino los técnicos especialistas en acondicionamiento de aire e higiene industrial, por ejemplo, deben contar siempre con asesoramientos meteorológicos, para asegurar la pureza de los ambientes interiores (tan ligada a la atmósfera exterior) dependiente muchas veces de los métodos de calefacción o refrigeración, y tan importante para la salud, el rendimiento laboral y el bienestar como el grado de temperatura o de humedad.

FACTORES METEOROLOGICOS DE LA CONTAMINACION

ATMOSFERICA

Factores dinámicos y térmicos

De esos factores tenemos en lugar fundamental los ligados al *movimiento del aire*. Por una parte los *vientos dominantes*, por otra la *turbulencia atmosférica* y en fin las *corrientes verticales*.

Los *vientos dominantes* tienen una estrecha relación con la topografía y clase del terreno, pero también dependen de la situación normal de los grandes centros de acción de la atmósfera (anticiclones y depresiones) en cada época del año, y del paso mas corriente de borrascas y frentes. En muchos lugares muestran una clara periodicidad estacional (monzones) o diaria (brisas) que deberá tenerse en cuenta al proyectar núcleos urbanos e industriales próximos entre sí. Por ejemplo, no deben instalarse fábricas, funcionando durante todo el día, entre ciudades costeras y el mar, o por debajo de pueblos situados en laderas montañosas, pues las brisas diurnas lanzarían continuamente los humos sobre las zonas habitadas, y lo contrario debe hacerse en factorías cuyos turnos de trabajo sean preferente mente nocturnos, ya que las brisas de noche se dirigen desde tierra al mar y desde la montaña al valle.

Los desplazamientos del aire son siempre mas o menos *turbulentos*, especialmente en las capas atmosféricas mas bajas, y la intensidad de sus movimientos turbillónarios depende fundamentalmente de la naturaleza del suelo, de la velocidad de las corrientes aéreas a distintos niveles y de sus desigualdades térmicas, particularmente en dirección vertical. En general, la intensidad de la turbulencia aumenta con las irregularidades superficiales, con la velocidad del aire y con el orden de disminución de temperatura con la altura, cuando este enfriamiento es superior al grado centígrado por hectómetro del llamado *gradiente adiabático* del aire seco, y empieza la inestabilidad vertical.

Debido a la primera de esas influencias, es decir a la naturaleza del suelo, puede ser muy útil estudiar experimentalmente, por medio de modelos y maquetas a escala, los efectos de edificaciones y otras estructuras en la difusión turbulenta de humos y corrientes aéreas, antes de proyectar y realizar las correspondientes construcciones. En cuanto a las otras causas, pueden dar lugar en muchos sitios a ciclos diarios, muy característicos, ligados a las periodicidades de vientos y contrastes térmicos, que indican normalmente un incremento de turbulencia durante las horas medias del día, y un mínimo nocturno. A ello obedece el que en estas condiciones normales las emisiones de humos urbanos e industriales constituyan mayor peligro de contaminación de noche, con menos probabilidades de difusión por turbulencia, que de día, y por tanto hay que mirar con precauciones las tendencias a establecer turnos nocturnos de trabajo en ciertas zonas industriales. En los grandes núcleos de población, por otra parte, constituye un peligro creciente para la pureza atmosférica, el aumento de la intensidad y expansión de la vida nocturna, por el consiguiente incremento de contaminación con menos posibilidades de dispersión turbulenta que durante todo el día.

En cuanto a los *desplazamientos verticales del aire*, su sentido y magnitud dependen, a cada momento, de lo que en meteorología llamamos la *estabilidad de estratificación atmosférica*, regida en primer lugar por la distribución de su temperatura a distintos niveles, es decir por la forma de su *curva de estado*, que puede determinarse a través de los sondeos termodinámicos. Ahora bien, cuando el aire asciende, se va dilatando y enfriando prácticamente de manera adiabática, es decir, sin intercambio de calor con el aire de alrededor, por lo cual se ha calculado que su temperatura debe experimentar una disminución, según hemos dicho, de un grado centígrado por cada cien metros de elevación, si está seco, o menos si está saturado de vapor de agua. Por consiguiente si en el ambiente la temperatura disminuye con la altura mas despacio, la estratificación será estable, si lo hace con el mismo orden de magnitud será indiferente, y si lo hace mas deprisa será inestable.

Lo primero supone oposición a los desplazamientos verticales y lo último facilidad para ellos, de manera que el grado de una u otra dependerá, en igualdad de otras condiciones, de la mayor o menor separación entre la curva de estado y la curva de evolución que corresponde al aire ascendente o descendente. En las situaciones en que la temperatura del ambiente, en vez de disminuir como es lo normal, aumenta con la altura se tienen las llamadas *inversiones térmicas*, que son casos extremos de estabilidad vertical, y actúan de verdaderas "tapaderas" para los desplazamientos en esta dirección. Son bastante frecuentes durante las noches invernales en las capas de aire junto al suelo (inversiones de tierra) debido al sensible enfriamiento de éste por radiación cuando el cielo está despejado de nubes.

Masas de aire, anticiclones, depresiones y frentes

La estratificación atmosférica, mas o menos estable o inestable, depende del tipo de *masa de aire* en cada época y sobre cada lugar. Así, dentro de las *masas frías*, es decir de las que están a temperatura mas baja que el suelo sobre el cual descansan, por proceder de latitudes mas altas, suele haber inestabilidad pues se calientan sensiblemente por abajo. Dentro de ellas se originan corrientes verticales y torbellinos que evitan la acumulación de las materias contaminadoras en las capas bajas, contribuyendo a la purificación del aire. Lo contrario ocurre en las *masas cálidas* con mayor temperatura que el suelo, — por proceder de latitudes mas bajas, pues se enfrían por su parte inferior adquiriendo gradientes térmicos muy pequeños, con las correspondientes estratificaciones estables, dando lugar a frecuentes *inversiones de tierra*. En nuestras latitudes lo normal es que las inestabilidades mas corrientes se manifiesten en primavera, cuando el suelo se calienta mas rápidamente que el aire, y que ocurra lo contrario durante el otoño, periodicidad estacional que debe siempre tenerse en cuenta al tratar de relacionar la contaminación atmosférica con la climatología local. También deben conocerse, en cada zona y época del año, los caminos de invasión mas frecuentes de masas aereas con características definidas, adquiridas en sus regiones manantiales primeramente y después a lo largo de su recorrido, por sus influencias meteorológicas, mas o menos dependientes de los factores geográficos locales.

Además, se ha observado que la relación entre la difusión atmosférica y esos grados de estabilidad o inestabilidad, está ligada al gradiente vertical de la *velocidad del viento*, y por tanto hay que tener muy en cuenta la distribución de presiones a distintos niveles y las superficies frontales de discontinuidad entre distintas masas de aire, o *frentes meteorológicos*, que suelen acompañar a las familias de borrascas. En general, las situacio-

nes de alta presión o anticiclones que van unidas a calmas, aire descendente, estabilidad y con frecuencia *inversiones de subsidencia* favorecen la concentración de sustancias contaminantes en las capas bajas, ofreciendo, por otra parte, escasas posibilidades de lavado del -- aire a través de precipitaciones. Lo contrario ocurre en las situaciones depresionarias, ciclónicas o borrascas, cuyos vientos convergentes, corrientes ascendentes, turbulencia e inestabilidad, junto con frecuentes chaparrones, contribuyen a limpiar las bajas capas aéreas.

La formación de inversiones con anticiclones estacionarios, sobre todo invernales, resulta favorecida en regiones montañosas al resbalar el aire mas frío y por tanto de mayor densidad hacia los terrenos mas bajos, donde queda embalsado con temperaturas inferiores respecto a las del que se halla situado en niveles superiores. Esto se observa frecuentemente en núcleos urbanos e industriales de valles y hondanadas, que tienen elevados y frecuentes índices de contaminación atmosférica. Un ejemplo bastante conocido son las continuas reclamaciones en la frontera entre el Estado norteamericano de Washington y la Columbia Británica del Canadá por los humos de las fundiciones, en un estrecho y profundo valle de esta región en Trail, que no pueden atravesar las frecuentes inversiones y descienden, -- desplazándose hacia el Sur, y dañando las cosechas del primero de esos Estados. Todo ello hay que tenerlo muy en cuenta al instalar fábricas cercanas a núcleos de vida o regiones agrícolas o ganaderas, en terrenos bajos, para que sus chimeneas emitan los humos a niveles superiores al máximo que por término medio tengan esas inversiones, si no salen tan calientes que, de acuerdo con las temperaturas normales del ambiente, puedan vencer el correspondiente obstáculo por un efecto de tiro bien calculado.

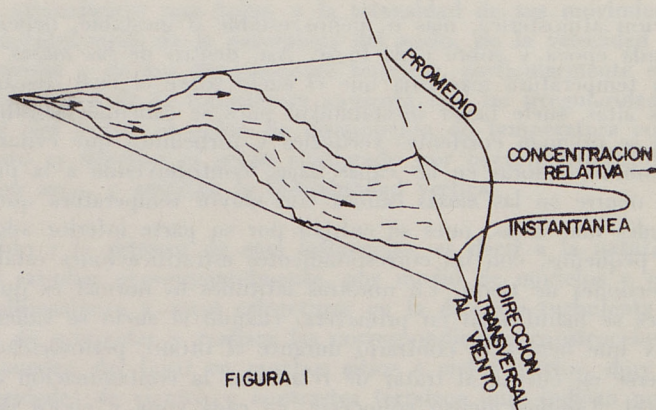


FIGURA I

CONCENTRACIONES Y DIFUSIONES DE HUMOS PROCEDENTES DE DISTINTOS NIVELES

En la práctica la estela de humo de cualquier foco del suelo adquiere formas — muy variadas de acuerdo con el terreno, con las condiciones meteorológicas, con la época del año y con la hora del día. En campo abierto y llano, con velocidad moderada del viento y cielo cubierto (o incluso con cielo despejado o nuboso si el viento es mas fuerte) el humo forma una estela bastante rectilínea y bien definida que crece perceptiblemente en anchura y altura cuando aumenta la distancia al foco. Si, en cambio, el viento es flojo y hay suficiente sol para calentar la superficie del suelo, existe mucha mayor irregularidad en la forma del penacho. Aparte de que el mismo humo puede calentarse, como es natural, por la radiación solar, es claro que el propio movimiento del aire conduce a su extensión mas rápida en la vertical y a una variación errante en las direcciones recorridas por las secciones sucesivas de la nube de humo. El resultado es que ésta adquiere una forma sinuosa, incluso con discontinuidades, y llega mas o menos rapidamente a hacerse invisible. Por el contrario de noche, si el cielo está suficientemente claro para que se produzca un apreciable enfriamiento del suelo, y el viento es suave, la elevación en conjunto y la extensión vertical se reducen considerablemente, y el humo se desplaza en el sentido del viento, en forma visiblemente compacta, hasta distancias bastante apreciables. Las tres modalidades descritas se comprende en seguida que corresponden, respectivamente, a las situaciones de indiferencia, inestabilidad y estabilidad en la estratificación vertical del aire, mencionadas anteriormente.

Por otra parte, de acuerdo con las dimensiones alcanzadas por un penacho de humo las concentraciones en su interior tienden a ser relativamente bajas en condiciones de inestabilidad, y relativamente altas en condiciones de estabilidad. Además, las irregularidades que se producen, de distinta extensión, en el momento de salir el humo, tienen importantes consecuencias sobre la distribución media de su concentración en dirección transversal al viento. Estas irregularidades obedecen al hecho de que secciones sucesivas de la nube se trasladan desde el punto de salida a lo largo de diferentes trayectorias aproximadamente rectilíneas, como puede verse en la figura 1 (adaptada de la obra "Atmospheric Diffusion" de F. Pasquill, que estamos siguiendo en estas últimas descripciones). El resultado es que en un área, viento abajo del foco, la distribución transversal al viento de la concentración de humo, en cualquier instante, está caracterizada por valores relativamente altos, sobre un estrecho frente, mientras que el promedio de esa distribución, en cierto periodo de tiempo, indica valores mas bajos extendidos sobre un frente mas ancho, como se indica también en la misma figura.

Cuando el foco de humo está sensiblemente elevado sobre el suelo, como en las chimeneas industriales, las configuraciones anteriores también aparecen en la estructura horizontal del correspondiente penacho, pero éste adquiere formas características en un plano sección vertical media, y aunque sus desplazamientos en esta dirección resultan ampliados si el humo está mas o menos caliente, sus moldes básicos vienen determinados esencialmente por la turbulencia y convección atmosféricas. En la reciente literatura norteamericana sobre el particular se aplican comunmente los términos bastante geográficos, que voy a describir, a los comportamientos de esas nubes de humo verticalmente (U.S. Weather Bureau, 1955, "Meteorology and Atomic Energy"):

En forma de "rizo"..... para condiciones inestables.

En forma de "cono"..... para condiciones indiferentes.

En forma de "abanico".... para condiciones estables.

La formación en "rizo" se produce por secciones sucesivas del penacho de humo desplazándose con inclinaciones diferentes, unas veces hacia arriba y otras hacia abajo, de una sección fija vertical y normal al viento. En la formación de "cono" las sucesivas secciones siguen trayectorias que no son realmente diferentes y por ello el penacho en conjunto tiende a asumir una forma cónica prácticamente invariable. En el modelo en "abanico" se mantiene el desarrollo horizontal transversalmente al viento y puede haber un cierto grado de serpenteo del penacho en conjunto, pero su desarrollo vertical se reduce grandemente y algunas veces no existe en absoluto. La figura 2 (adaptada de la misma obra que la figura 1) ilustra estas tres formaciones principales. También se consideran dos formas transitorias (figura 3), la de "levantamiento" o "elevación", en que la extensión vertical se produce mucho más efectivamente sobre el lado superior del penacho que sobre el lado inferior, originándose en el tránsito diario de condiciones inestables a estables hacia la puesta del sol, con tiempo despejado; y la de "fumigación", que es inversa de la anterior y se produce en la transición también inversa del orden de estabilidad durante las primeras horas matutinas.

En estos casos de chimeneas elevadas hay algunos contrastes con las situaciones de focos al nivel del suelo. Uno de los más importantes consiste en que las condiciones relativamente inestables, y no las estables, son las más adecuadas para la aparición intermitente de fuertes concentraciones de humo, sobre el suelo, y junto a las chimeneas. Por el contrario, concentraciones temporales muy fuertes, incluso a grandes distancias de las chimeneas, pueden ser consecuencia de efectos de "fumigación", asociados con aparición de condiciones inestables.

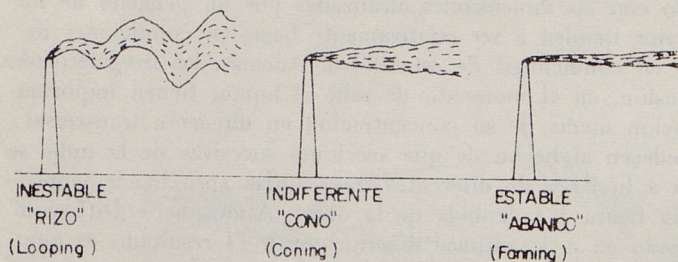


FIGURA 2

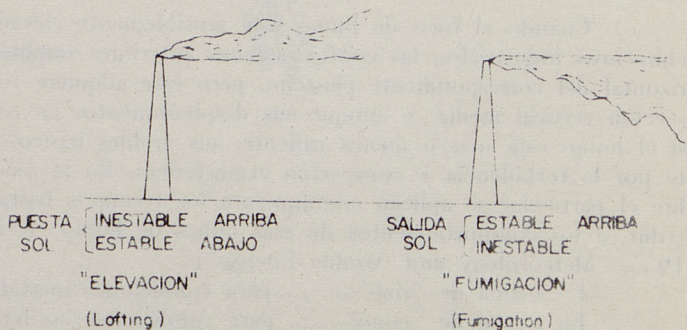


FIGURA 3

FACTORES DEPENDIENTES DE LOS CICLOS HIDROLOGICOS

Los otros factores meteorológicos, de gran interés en relación con la contaminación que estamos tratando, son los relacionados con los fenómenos de evaporación de las aguas terrestres, de condensación de los vapores correspondientes en el aire y de su posterior caída en forma de precipitaciones atmosféricas, siendo por tanto factores hidrológicos tanto como meteorológicos. En primer lugar, existen acciones recíprocas entre estos fenómenos y la mayoría de las materias pululando en el aire, que, por ser generalmente higroscópicas, suelen actuar como excelentes núcleos de condensación del vapor de agua, facilitando por consiguiente la formación de nieblas y nubes, las cuales no podrían originarse, aún con elevados grados de humedad, en una atmósfera completamente pura. Ejemplo sobresaliente son los núcleos de anhídrido sulfuroso, que emiten en abundancia los humos de chimeneas domésticas e industriales, y que por la acción del sol se convierten en partículas de anhídrido sulfúrico, aún mas higroscópicas. Esto hace que poco después de amanecer, al coincidir este efecto con la nueva actividad en hogares y fábricas, que lanzan nuevamente núcleos al ambiente, se incrementa muchas veces la densidad y espesor de los bancos de niebla nocturnos, a pesar de que los rayos solares hayan comenzado a deshacer las inversiones térmicas de la noche, provocando corrientes convectivas que reparten las impurezas por estratos de altura creciente.

A medida que avanza la mañana suelen ir aclarando estas nieblas urbanas e industriales, porque el calentamiento creciente del sol hace que, de una parte, predomine la evaporación de gotas sobre su formación por condensación, y de otra, acelera las corrientes verticales, la turbulencia y las circulaciones aéreas, en general, que contribuyen a la purificación atmosférica. Sin embargo, cuando hay suficientes gotitas acuosas que han disuelto anhídrido sulfuroso, formando el correspondiente ácido, el cual se oxida transformándose en sulfúrico, o quedan, como ocurre en muchas zonas industriales, revestidas con películas aceitosas de sustancias contaminantes, se retrasa la disipación de las nieblas, por el proceso de evaporación, y pueden durar una serie de noches y días seguidos, como las célebres nieblas inglesas ("smog"), con los consiguientes desagradables efectos, principalmente biológicos, no solo por obligar a la respiración continua de un aire muy húmedo y viciado, sino por impedir largo tiempo la higiénica labor bactericida de los rayos ultravioletas.

Las nieblas duraderas requieren en general, además de humedad alta y núcleos de condensación, aire en calma, con estratificación vertical estable, y escasa turbulencia, condiciones que son mas persistentes en los anticiclones estacionarios, los cuales ya dijimos anteriormente que reúnen las mejores condiciones para la concentración y conservación de toda clase de impurezas en las capas atmosféricas bajas.

Por el contrario, las depresiones y borrascas, a los efectos purificadores que mencionamos, unen los del lavado atmosférico a través de sus frecuentes precipitaciones, debido a un doble efecto de arrastrar no sólo a las sustancias mas o menos disueltas como núcleos de condensación, sino a otras muchas insolubles, que se adhieren a las gotas líquidas o cristales de hielo durante su caída, pudiendo por ello estas precipitaciones contaminar a veces el suelo, y sobre todo las corrientes de agua, con los peligros consiguientes.

PREDICCIONES DE CONTAMINACION POTENCIAL DEL AIRE

A propósito de lo que llevo dicho, y antes de entrar en el próximo capítulo, debo mencionar que en Estados Unidos ya funciona regularmente, desde 1960, una sección de *Predicción de contaminación Potencial del Aire* (Air Pollution Potential Forecasts: APPF) dependiente del Servicio Meteorológico Norteamericano (Weather Bureau). Como efecto de su actividad hace muy pocos días ha llegado a mis manos un folleto, editado en el pasado septiembre por el Servicio de Sanidad pública (Public Health Service) del Departamento de Sanidad, Educación y Bienestar de los Estados Unidos, (Department of Health, Education and Welfare), sobre la situación meteorológica de la contaminación potencial del aire, en las regiones orientales de este país, durante los meses de noviembre y diciembre de 1962. En él se dice que desde un punto de vista meteorológico la *contaminación potencial del aire* puede definirse, en general, como *una serie de condiciones especiales del tiempo conducentes a la acumulación de materias contaminantes en la atmósfera*. Y especifica las siguientes condiciones meteorológicas como mejores indicativos de tales situaciones:

1). Velocidades de viento superficial inferiores a 8 nudos (14 Km/h), generalmente representadas por velocidades de viento medias de 5 nudos (8 Km/h).

2). Vientos no mayores de 25 nudos (45 Km/h) a ningún nivel inferior a 500 milibares (aproximadamente 5.454 m.).

3). Existencia de subsidencia, es decir descenso de las masas de aire por debajo del nivel de 600 milibares (aproximadamente 4.242 m.).

4). Ninguna precipitación atmosférica.

5). Area afectada mayor que un cuadrado de lado igual a 4 grados de latitud (unos 444 Km. cuadrados).

Y 6). Que todas estas condiciones persistan al menos 36 horas, es decir que no se trate del caso normal diario de establecimiento de contaminación durante la noche con purificación del aire durante el día.

Un equipo de meteorólogos de esa Sección, cuya Oficina Central está en Cincinnati, interpreta diariamente los mapas sinópticos, y cuando con arreglo a los criterios anteriores parece presentarse una situación de contaminación atmosférica en potencia, que suele responder, como ya dijimos, a fuertes anticiclones estacionarios, se transmiten avisos de alertas a 12 y 17 horas, a través de uno de los circuitos de teletipos del Weather Bureau, hasta unas 240 estaciones meteorológicas de primer orden, que difunden dichos avisos entre las entidades afectadas y público en general, para que puedan tomar con antelación suficiente todas las medidas preventivas que se consideren necesarias y posibles.

En este folleto aparecen mapas con isolíneas de días totales de alertas en distintas épocas, por todas las regiones orientales de Estados Unidos, curvas de niveles de contaminación, durante los mismos días, en relación con los de periodos normales, gráficas comparativas de concentraciones de distintos impurificantes, en relación con insolaciones, temperaturas y velocidades del viento, etc., etc.

DIFUSION DE RESIDUOS RADIATIVOS Y OTRAS MATERIAS POR LA ATMOSFERA

Ahora voy a tratar, brevemente por falta de tiempo, de los procesos de dispersión de residuos radiactivos, también desde un punto de vista meteorológico.

La característica general de estos procesos, que aunque tienen mucho de común con los anteriores se diferencian en algunos aspectos, aparte de su mayor peligrosidad, es el que cantidades pequeñísimas de materias desprendidas pueden originar importantes grados de contaminación radiactiva de la atmósfera y el suelo a lo largo de enormes distancias y de áreas extensísimas. Ejemplo elocuente fue el accidente de Windscale, en octubre de 1957, donde un excesivo calentamiento del combustible de uranio dió lugar al escape, por una chimenea de 120 metros, de una fracción de gramo de lodo-131, solamente, que sin embargo produjo la contaminación total del suelo en el noroeste de Inglaterra.

Los estudios sobre este accidente y sobre la difusión de los residuos procedentes de pruebas nucleares, con sus riesgos a corto y largo plazo, ligados a su "fall-out" o dispersión hacia la atmósfera mas baja y el suelo, han sido muy numerosos y han ido arrojando cada vez mas luz sobre el particular. Así, la Comisión Norteamericana encargada de estudiar los aspectos meteorológicos de las radiaciones atómicas, ya en 1956, estableció que en esa dispersión, precipitación o "fall-out" deben reconocerse tres fases principales: *inmediata*, *intermedia* y *retardada*, que corresponden a periodos de horas, semanas y meses o años respectivamente, de manera que únicamente las dos últimas están regidas en alto grado por los mecanismos generales de difusión atmosférica, cuya influencia parece ser de mucha menor importancia sobre la primera fase. En ésta, la distribución por el suelo de las partículas mayores se supone que está gobernada primordialmente por la acción en gran escala de los vientos, actuando sobre las trayectorias de dichas partículas, de acuerdo con sus velocidades de caída a distintas alturas, que dependen de los valores de sus radios medios.

Los recorridos por la troposfera de los residuos de explosiones atómicas se han estudiado, por ejemplo mediante observaciones desde aviones provistos de filtros especiales, comparando las trayectorias reales de las nubes radiactivas con las previstas a partir de los datos de corrientes aereas observadas, o de los vientos geostróficos, calculados por medio de los mapas meteorológicos de topografías isobáricas. La interpretación de las correspondientes relaciones resulta bastante complicada por la intervención decisiva de los efectos de cizalladura del viento, debido a lo cual existen aún bastantes discusiones acerca de las influencias en aquellas trayectorias de las circulaciones atmosféricas en gran escala, dentro de la troposfera.

En cuanto a la lenta deposición de los residuos muy finos, inyectados dentro ya de la estratosfera, durante pruebas termonucleares, corresponden a la fase retardada de "fall-out" que mencionamos, implicando procesos de difusión que son, no solo de una escala mucho mayor que los considerados hasta ahora, sino de caracter diferente por envolver circulaciones generales en un espesor atmosférico muy grande, que abarca seguramente no sólo a la troposfera sino a gran parte de la estratosfera.

Se están haciendo en todo el mundo desde hace varios años observaciones de restos radiactivos en polvo atmosférico y en el agua de lluvia, por ejemplo de estroncio-90, las cuales demuestran el lento retorno de los materiales que penetraron en la estratosfera

durante esas pruebas. Sin embargo, no conocemos aún una completa interpretación, desde el punto de vista meteorológico, acerca de peculiaridades de esta modalidad de "fall-out," como ciertas variaciones geográficas y estacionales aún no bien definidas.

Por último creo interesante mencionar el descubrimiento, que yo sepa, de cinco principales mecanismos naturales de arrastre o "lavado" de sustancias radiactivas suspendidas en la atmósfera, dependientes del agua que contiene:

1º. La *difusión browniana*, o captura por las gotitas nubosas, debida a los conocidos movimientos brownianos propios de un aerosol pues, como decía el profesor Morán, a lo que hay que comparar la atmósfera es a un *aerosol de agua, de polvo y de núcleos*.

2º. La *difusión turbulenta*, o captura análoga pero que obedece a los movimientos turbulentos alrededor de esas gotitas.

3º. La *condensación directa* del vapor de agua en forma de gotas sobre las partículas radiactivas.

4º. El *impacto* de esas partículas en las gotas de agua o cristales de hielo de las precipitaciones atmosféricas, mecanismo que es muy efectivo para las partículas de mayor tamaño.

Y 5º. La *difusoresis*, que impulsa a las partículas cerca de las gotitas nubosas a moverse por efecto de las corrientes de difusión hacia esas gotas cuando están creciendo por condensación. Este mecanismo parece ser muy eficaz precisamente para las partículas submicroscópicas, que apenas intervienen en los dos últimos procesos.

Finalmente, aunque gracias a Dios, en la última contienda no se conoció la guerra química ni bacteriológica, y únicamente se emplearon humos de enmascaramiento, nadie puede asegurarnos lo que nos reserva el futuro sobre el particular. Por una parte hay quien opina que sus métodos no son mas terribles que los de la guerra nuclear. Por otro lado se están descubriendo diversas materias que, sin ser mortales, actúan análogamente a los gases lacrimógenos, usados hace tiempo, es decir que pueden provocar trastornos, paralizaciones o incapacidades temporales, al dispersarse en forma gaseosa o bien de pequeñísimas gotas líquidas o partículas sólidas, suspendidas en el aire formando aerosoles. No cabe duda de que lo mismo los mandos e industrias militares que los organismos de protección civil deben contar con los elementos y factores meteorológicos que hemos hecho resaltar, por sus decisivos influjos en la concentración y difusión de toda esa clase de materias dañinas, orgánicas o inorgánicas, en cualquier estado, capaces de persistir o dispersarse fácilmente a través de la atmósfera.

CONCLUSIONES

Y para terminar, solamente me queda, después de agradecer la asistencia y atención de todos los presentes, hacer votos, en primer lugar para que mis palabras sirvan de estímulo a los profesionales de la meteorología, con objeto de que puedan interesarse cada vez más por las nuevas aplicaciones de esta ciencia y de sus adelantos técnicos, a la resolución de problemas tan vitales como los mencionados. En segundo, para que puedan convencer a las personas ajenas a nuestra profesión, que nos han honrado con su presencia, o puedan leer algún día estos comentarios, sobre la necesidad de entablar sincero diálogo con el Servicio Meteorológico Nacional, y con nuestros técnicos, sobre los múltiples aspectos de la contaminación atmosférica, que, como se ha visto, tienen una base fundamentalmente meteorológica, que afectan en general a todas las actividades humanas, puesto que vivimos sumergidos en el aire, como los peces en el agua, y que cada día se hace más necesario y urgente tratar de resolver satisfactoriamente para todos.

Madrid, mayo de 1965

El presente informe tiene por objeto dar a conocer el estado de la actividad sísmica en la zona de estudio durante el periodo comprendido entre el 1 de enero de 1983 y el 31 de diciembre de 1983. Para ello se han recopilado todos los datos que se han obtenido de las estaciones sísmicas que forman parte de la red nacional de observación de terremotos, así como de las estaciones que pertenecen a instituciones extranjeras que colaboran con el Servicio Geológico de México. Los datos se han clasificado de acuerdo con la profundidad del foco, la magnitud y el tipo de movimiento. Los resultados se presentan en forma de mapas y gráficos, que permiten visualizar la distribución espacial y temporal de la actividad sísmica. Se concluye que la actividad sísmica en la zona de estudio durante el periodo analizado fue de intensidad moderada, con focos que se localizaron principalmente a profundidades entre 10 y 30 km. La magnitud máxima registrada fue de 4.5, correspondiente a un terremoto que ocurrió el 15 de febrero de 1983. Los movimientos predominantes fueron de tipo normal, lo que indica que la zona de estudio se encuentra sujeta a tensiones tectónicas que favorecen este tipo de movimientos.

El presente informe fue elaborado por el personal del Servicio Geológico de México, con la colaboración de las estaciones sísmicas que forman parte de la red nacional de observación de terremotos. Se agradece a las instituciones colaboradoras su valiosa contribución a la realización de este trabajo.

El presente informe es el resultado de un trabajo de investigación que se realizó en el marco de un convenio de colaboración entre el Servicio Geológico de México y el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los resultados de este trabajo se publican en forma de informe para dar a conocer el estado de la actividad sísmica en la zona de estudio.

El presente informe es el resultado de un trabajo de investigación que se realizó en el marco de un convenio de colaboración entre el Servicio Geológico de México y el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los resultados de este trabajo se publican en forma de informe para dar a conocer el estado de la actividad sísmica en la zona de estudio.

El presente informe es el resultado de un trabajo de investigación que se realizó en el marco de un convenio de colaboración entre el Servicio Geológico de México y el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los resultados de este trabajo se publican en forma de informe para dar a conocer el estado de la actividad sísmica en la zona de estudio.

GRÁFICAS VIRGEN DE LORETO